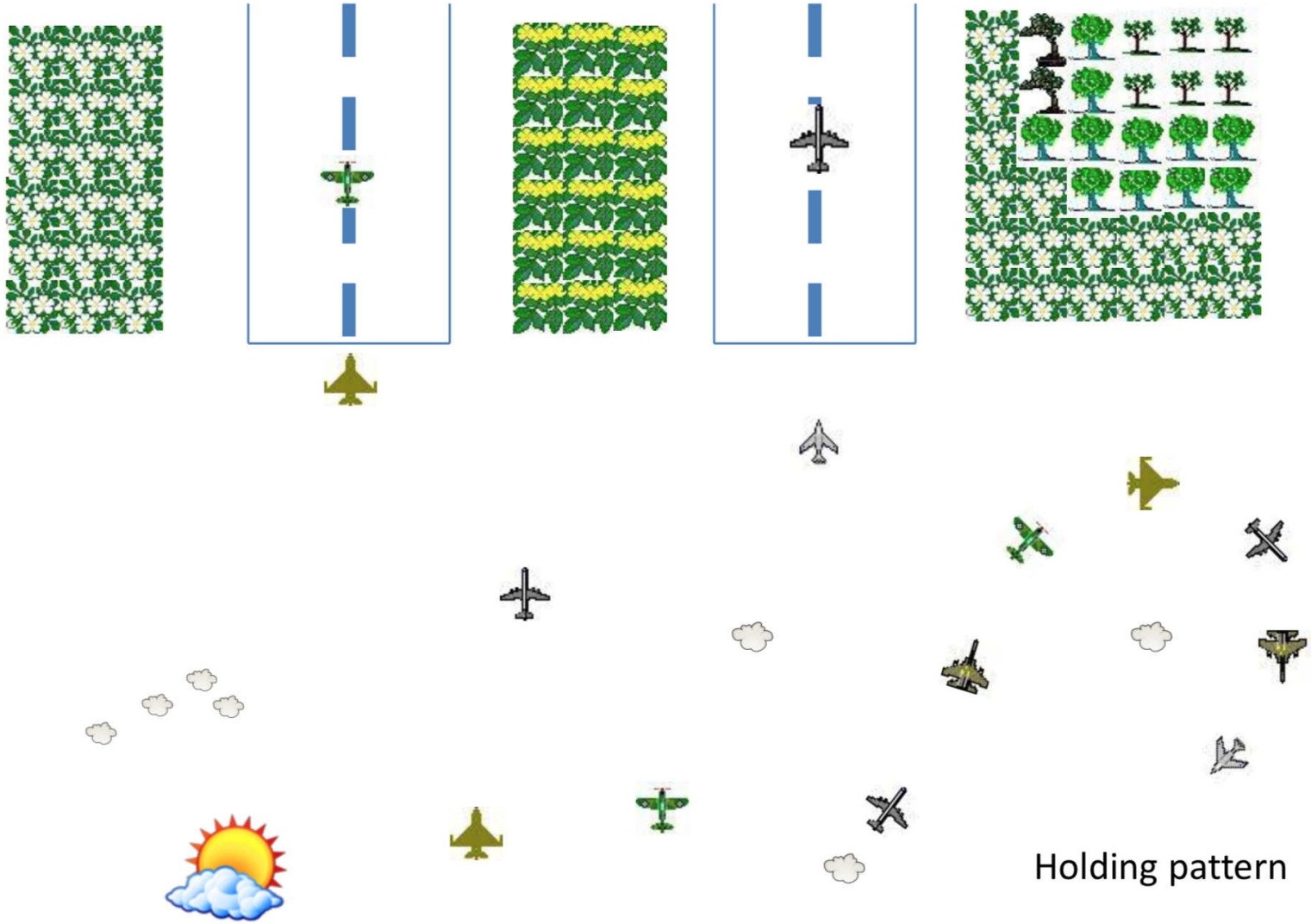
Projet SEQATA
SÉQuencement d'ATterrissage d'Avions

Cours SOD324-MH (2022-2023)

Agnès PLATEAU
Maurice DIAMANTINI et Natalia JORQUERA.

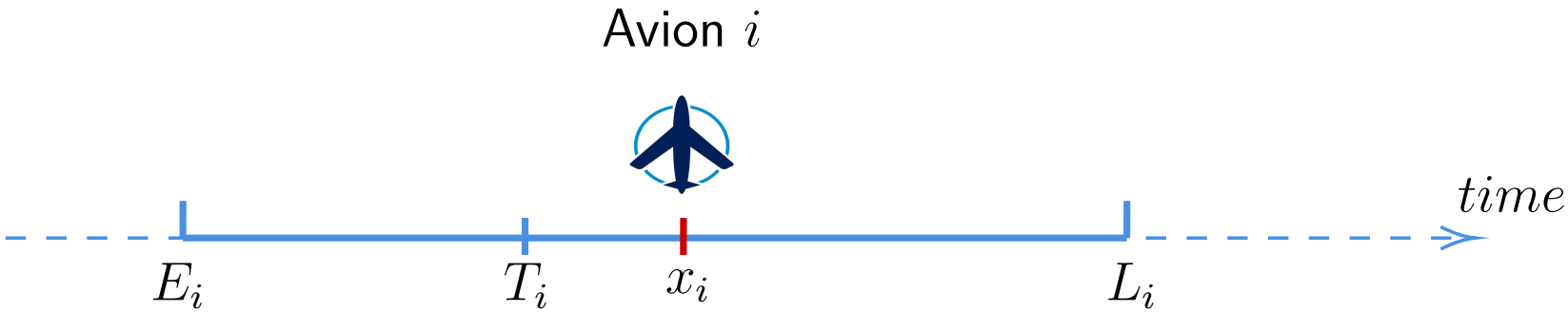
02/12/2022

Le problème d'atterrissage sur un aéroport



Pour SEQATA $\Rightarrow$ une seule piste d'atterrissage !

Contraintes de fenêtre de temps de chaque avion



A : ensemble des n indices d'avion

E_i : earliest time

T_i : heure d'atterrissage préférée (target time)

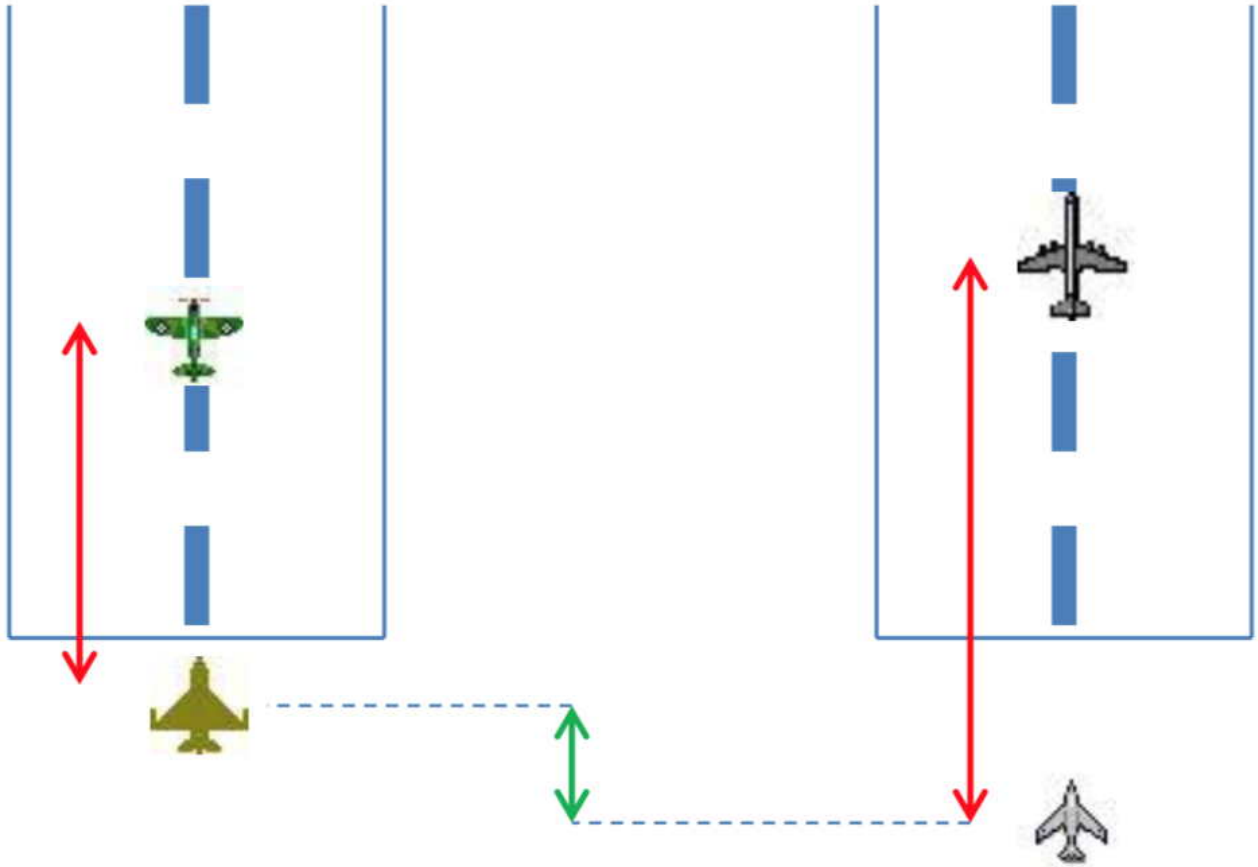
L_i : latest time

x_i : heure d'atterrissage calculée

Date d'atterrissage de chaque avion bornée

$$E_i \leq x_i \leq L_i \quad \forall i \in A$$

Contraintes de temps de séparation entre avions



Temps de séparation entre deux avions : S_{ij}

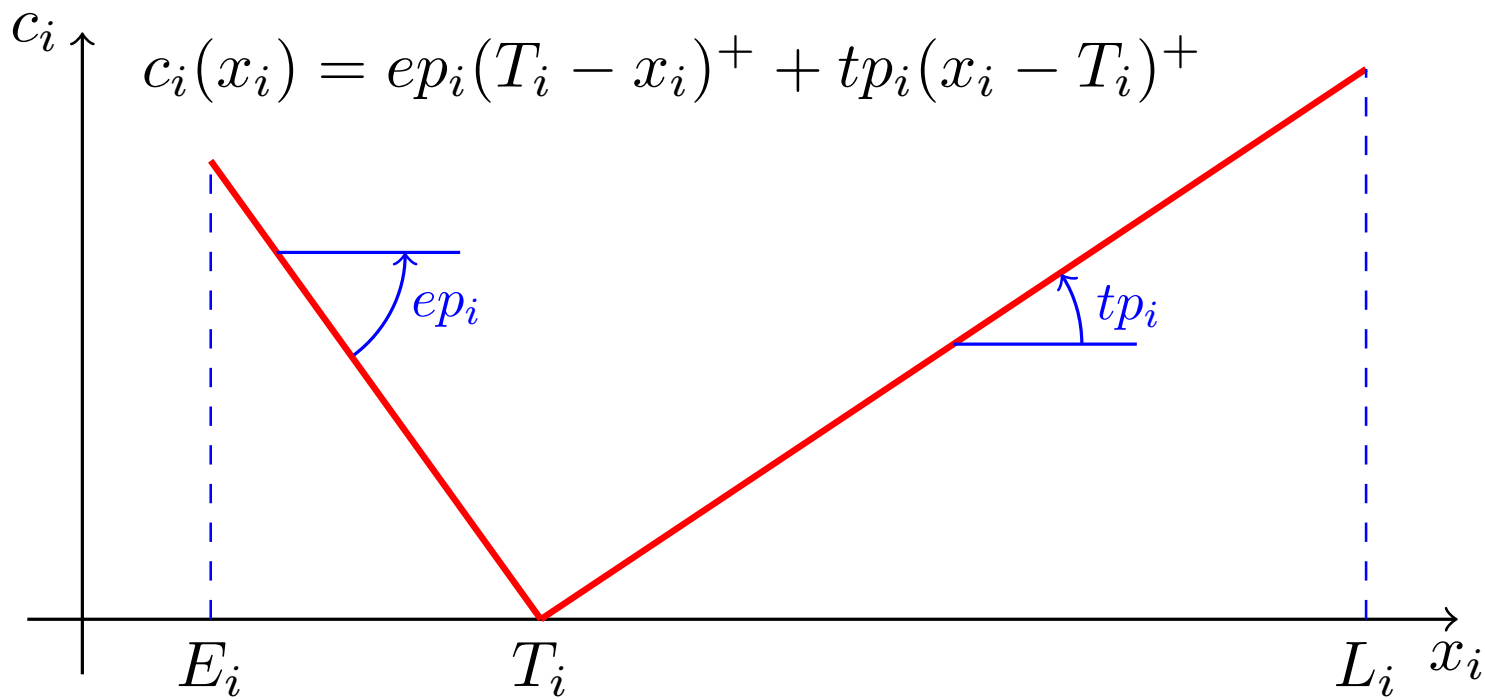
$$x_j \geq x_i + S_{ij} \quad \forall i, j \in A^2 \text{ tels que } i \neq j \text{ et } x_i < x_j$$

Avec S_{ij} : matrice carrée non symétrique.

(S_{ij}^{kl} si plusieurs pistes !)

Coût de pénalité d'un avion et objectif

Fenêtre de temps pour chaque avion



Objectif du problème

$$\min_x \sum_{i \in A} c_i(x_i)$$

Les données d'une instance

```
name alp_01_p10
nb_planes 10
nb_kinds 2
freeze_time 10 # inutile pour seqata (problème dynamique)

#    name  kind   at     E     T     L     ep    tp
plane  p1    1    55   130   156   560   10.0 10.0
plane  p2    1   121   196   259   745   10.0 10.0
plane  p3    2    15    90    99   511   30.0 30.0
plane  p4    2    22    97   107   522   30.0 30.0
plane  p5    2    36   111   124   556   30.0 30.0
plane  p6    2    46   121   136   577   30.0 30.0
plane  p7    2    50   125   139   578   30.0 30.0
plane  p8    2    52   127   141   574   30.0 30.0
plane  p9    2    61   136   151   592   30.0 30.0
plane p10    2    86   161   181   658   30.0 30.0

# Separation time : kind1 kind2 value
sep 1 1 3
sep 1 2 15
sep 2 1 15
sep 2 2 8
```

Format de la solution et validateur 1/2

```
name alp_01_p10
timestamp 2022-11-08T16:57:22.343
cost 700.0
order [p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p1,p10,p2]

#       name  t  dt  cost      # comments
landing  p3  99  0   0.0      # E=90  T=99  L=511  ...
landing  p4 107  0   0.0      # E=97  T=107 L=522  ...
landing  p5 119 -5 150.0      # E=111 T=124 L=556  ...
landing  p6 127 -9 270.0      # E=121 T=136 L=577  ...
landing  p7 135 -4 120.0      # E=125 T=139 L=578  ...
landing  p8 143  2  60.0      # E=127 T=141 L=574  ...
landing  p9 151  0   0.0      # E=136 T=151 L=592  ...
landing  p1 166 10 100.0      # E=130 T=156 L=560  ...
landing p10 181  0   0.0      # E=161 T=181 L=658  ...
landing  p2 259  0   0.0      # E=196 T=259 L=745  ...
```

Détail des commentaires sur chaque ligne (facultatif)

- Les formats d'instance et de solutions sont imposés, (mais pas les commentaires)
- **Toute solution devra être acceptée par un validateur**

Format de la solution et validateur 2/2

```
...
cost 700.0
order [p3,p4,p5,p6,p7,p8,p9,p1,p10,p2]
...
landing  p7 135 -4 120.0
    # E=125 T=139 L=578  ep=30.0 tp=30.0
    # sep 8(8) 16(8) 28(8) -ok-
landing  p8 143  2  60.0
    # E=127 T=141 L=574  ep=30.0 tp=30.0
    # sep 8(8) 16(8) 24(8) -ok-
...
```

Détail des commentaires sur chaque ligne (facultatif)

- rappel des caractéristiques de l'avion,
- indique l'écart réel et minimum avec ses plus proches prédécesseurs,
- $\Rightarrow$ utile pour déboguer votre code !

Deux approches de résolution possibles

Approche exacte du problème complet **Taille limitée**

- Pour chaque avion, chercher sa date d'atterrissage,
- Plusieurs modélisations exactes possibles par PLNE,
- $\Rightarrow$ valable pour pour les petites instances,
- $\Rightarrow$ voir exemple en PLNE dans le proto fourni.

Décomposition en deux niveaux successifs **Pour Seqata !**

- **étape 1** : chercher un ordre optimal d'atterrissage des avions
  $\Rightarrow$ définir une *permutation* des avions,
- **étape 2** : Pour un ordre d'avions donné, chercher la date précise d'atterrissage des avions
  $\Rightarrow$ pb connu sous le nom *Sous Problème de Timing* (STP).

Travail demandé 1/4 : briques de bases

Brique exacte pour le **Sous-Problème de Timing (= STP)**

- ordre des avions fixé $\Rightarrow$ trouver la date x_i de chaque avion,
- **solution algorithmique** : Programmation Dynamique (`DpTimingSolver`) **non triviale pour être efficace !**
  $\Rightarrow$ aucune dépendance externe.
- **le plus simple : Programmation Linéaire**, (`LpTimingSolver`) **conseillé !**
  $\Rightarrow$ nécessite solveur externe `CPLEX`, `Gurobi`, CLP, ...
  $\Rightarrow$ vous disposerez d'un exemple de solveur avec JuMP : `EarliestTimingSolver`

Travail demandé 2/4 : briques de bases

Implanter une **méthode de descente aléatoire**

- définir/tester/choisir un voisinage couvrant,
- tirage aléatoire et acceptation éventuelle d'**un** voisin,
- compromis *largeur voisinage* vs *rapidité convergence*,
- créer une classe `DescentSolver` : **Facile** :
  $\Rightarrow$ un squelette du `DescentSolver` existe déjà !
  $\Rightarrow$ un `ExploreSolver` complet existe déjà !

Travail demandé 3/4 : *Steepest Descent*

Principe

1. à chaque itération, **tester tous les voisins**,
2. adopter le meilleur voisin et passer à l'itération suivante,
3. on s'arrête quand il n'y a plus de voisin améliorant,
   $\Rightarrow$ **déterministe** pour une solution initiale donnée.
4. $\Rightarrow$ **créer nouvelle classe** `SteepestSolver`,

Stratégies et variantes

- quel opérateur de voisinage utiliser ?
- accepter le premier voisin améliorant rencontré
  $\Rightarrow$ passer à l'itération suivante **sans tout explorer**,
  $\Rightarrow$ l'exploration ne sera complète que dans le minimum local.
  $\Rightarrow$ **ajoute de l'aléa** selon ordre d'exploration.
- voisinage implicite (définir et appliquer chaque mouvement),
- voisinage explicite (préconstruire le vecteur des mouvements),
  $\Rightarrow$ **combinaisons de voisinages possibles** mais **plus difficile**,

Travail demandé 4/4 : métaheuristique

Méthode à voisinage variable (VNS)

- but : implanter une méta-heuristique complète,
- $\Rightarrow$ **créer nouvelle classe `VnsSolver`,**
- en exploitant les briques précédentes,
- explorer les variantes de VNS présentées en cours,
- objectif : meilleure solution possible en 1 heure,
- liberté et créativité !

Challenge !

1/2 point de bonus par record battu
pour chacune des 5 grosses instances [1]

1. limité à 1.5 points

Un prototype de programme Julia **est fourni**

AV : Le proto est **opérationnel !**

- Projet pré-organisé et fonctionnel.
- Structure de *classes* (Instance, Planes, Solution ...).
- Gestion des options déjà faite (personnalisable).
- Lecture des fichiers d'instance faite.
- Plusieurs solveurs déjà implantés (EarliestTimingSolver, ExploreSolver, CarloSolver).

INC : Le proto aide beaucoup **mais...**

- Pas mal de code à lire pour le proto.
- Voir fichier `presentation_proto_seqata.md` pour les conseils...
- `https://sod324.minisme.fr`
- `https://sod324.minisme.fr/seqata_docs/`

Calendrier des retours

- **Avant le V/09/12/2022** *(le plus tôt possible)*
  - envoyer votre **formation de trinôme**,
  - créer un dépot **privé** sous git (github, gitlab, ...)
  - $\Rightarrow$ vous recevez le code `proto_seqata_p2023`,
  - $\Rightarrow$ à recopier sous le nom `seqata_gN` (pour le groupe N),
  - $\Rightarrow$ valider votre installation de Julia,
  - $\Rightarrow$ explorer les fonctionnalités du proto.
- **Pour V/16/12/2022** vous retourner :
  - l'url de votre **dépot git du projet avec journal**,
  - avec brique exacte STP.
  - avec `DescentSolver` (premier jet),
- **Pour V/06/01/2023** (séance de suivi de projet)
  - retour `SteepestSolver` opérationnel ou en cours,
  - prérapport avec au moins la description de la brique STP ;
- **Pour L/23/01/2023 rapport final**
  avec synthèse préliminaire des résultats.
- **Pour V/27/01/2023** (jour de l'examen)
  code définitif et annexe éventuelle au rapport.